Rede

über das Wesen und die Ursache

der

Erstickungserscheinungen am Respirationsapparate,

zur Feier

des

drei und siebenzigsten Stiftungstages

des

medicinisch-chirurgischen

Friedrich-Wilhelms-Instituts

am 2. August 1867

gehalten

von

Dr. L. Traube.



Berlin, 1867.

Verlag von August Hirschwald,

68 Unter den Linden.

Durch unsere Athembewegungen nehmen wir fortdauernd Sauerstoff aus dem uns umgebenden Luftmeer auf, um dafür Kohlensäure an dasselbe abzugeben. Wird durch Krankheit oder durch irgend welche andere Ursache eine Hemmung dieses Gaswechsels herbeigeführt, so daß weniger Sauerstoff aufgenommen und weniger Kohlensäure abgegeben werden kann, so sieht man eine Reihe von Erscheinungen auftreten, welche den Namen der Erstickungs- oder dyspnoëtischen Erscheinungen erhalten haben.

Am vollständigsten sind dieselben in dem Bilde vertreten, das ein Mensch darbietet, dessen Luftwege plötzlich von tropfbarer Flüssigkeit überschwemmt werden, wie in der Krankheit, die unter dem Namen des acuten Lungenödems bekannt ist. Der Kranke, den Ausdruck höchster Angst im Gesicht, von Unruhe gepeinigt, am häufigsten in sitzender Stellung und dann die Arme gegen die Unterlage gestemmt, scheint seine gesammten Kräfte auf den Respirations-Act zu concentriren, nur zu leben um zu athmen. Die Zahl der Athemzüge ist vermehrt, häufig das Doppelte und Dreifache der normalen übersteigend. Während der Einathmung erweitern sich die Nasenflügel, steigt der Kehlkopf gegen das Brustbein herab, heben sich die Unterschlüsselbeingegenden und die Bauchdecken so stark, wie bei

den stärksten körperlichen Anstrengungen. Man fühlt die Contraction verschiedener Halsmuskeln, der Scaleni, der Sternocleidomastoïdei, der oberen Theile des Trapezius, und kann bei mageren Menschen sogar die Omohyoïdei hervorspringen sehen. Auch die Ausathmung, die unter gewöhnlichen Bedingungen lediglich durch elastische Kräfte vollbracht wird, nimmt jetzt gleich der Einathmung musculöse Kräfte in Anspruch. Man fühlt, wie gegen das Ende derselben auch die Bauchmuskeln sich kräftig zusammenziehen. Wangen, Lippen, Hände und Füße erscheinen bläulich gefärbt und kühl. Die Augen aus ihren Höhlen getrieben, glotzend, die Stirn mit Schweiß bedeckt, die Pulsadern zusammengezogen und über das natürliche Maaß gespannt. Die Zahl der Pulse wie die der Athemzüge gesteigert. — Tritt der Tod durch Erstickung ein, so sieht man kurz vor demselben die Puls- und Athmungs-Frequenz wieder abnehmen. Die Einathmungen erfolgen, ohne etwas von ihrem gewaltsamen Character einzubüßen, in großen und ungleichen Intervallen, gleichsam stoßweise. Nicht selten öffnet der Kranke, bei jeder derselben gleichsam nach Luft schnappend, selbst die Mundhöhle. Das Bewußtsein ist in vielen Fällen glücklicherweise schon vorher geschwunden.

Welche Bedeutung haben diese Erscheinungen, insbesondere die am Athmungsapparat zu beobachtenden und in welchem Zusammenhange stehen dieselben mit der Störung des Lungengaswechsels? — Sind sie Wirkungen des im Körper eingetretenen Sauerstoffmangels oder als Vergiftungserscheinungen zu betrachten, welche die im Blute sich anhäufende Kohlensäure hervorruft? — Diese Fragen interessiren nicht bloß den Arzt, sondern auch den Physiologen, weil sie mit

einer anderen sehr wichtigen Frage, mit der Frage nach den Ursachen der Athembewegungen überhaupt in innigem Zusammenhang stehen. Ihre Beantwortung soll den Gegenstand der folgenden Betrachtungen bilden.

Zum näheren Studium der Erstickungs-Erscheinungen, die am Athmungsapparat hervortreten, eignen sich am besten solche Thiere, bei welchen unter natürlichen Verhältnissen die Ausathmung wie beim Menschen ohne wesentliche Mithilfe von Muskelkräften vor sich geht und bei der inspiratorischen Erweiterung der Brusthöhle eine möglichst geringe Anzahl von Muskeln betheiligt ist. Das Kaninchen, welches diese Eigenschaften besitzt, hat obendrein die beiden Vorzüge, daß bei einigem Geschick sich die meisten seiner Athmungsmuskeln ohne erhebliche Blutung bloßlegen lassen und daß durch den geringen Umfang des Untersuchungsobjects die Uebersicht selbst vieler gleichzeitig thätiger Muskeln erleichtert ist. Die natürliche Athmungsweise dieser Thiere ist die Bauchathmung. Sind sie, wie es bei passender Befestigung gewöhnlich der Fall ist, ruhig, so beobachtet man keine Bewegung der Rippen, und ebensowenig eine Contraction der Hals- und Nackenmuskeln. Die einzig sichtbare Bewegung am Rumpfe ist die bei jeder Einathmung zunehmende Wölbung der Bauchdecken. Sie entsteht dadurch, daß das in Zusammenziehung gerathende Zwerchfell sich abflacht und die Unterleibseingeweide vor sich her treibt. Sauerstoff-Aufnahme und Kohlensäure-Abgabe werden hier offenbar durch die Thätigkeit nur eines Muskels vermittelt. Er vergrößert, indem er sich zusammenzieht, den Brustraum und damit den Binnenraum der Lungen auf Kosten der Bauchhöhle; läßt seine

Contraction nach, so streben die gewölbten Bauchdecken, das ausgedehnte Lungengewebe und die comprimirten Darmgase, in Folge der ihnen innewohnenden Elasticität, ihre ursprünglichen Dimensionen wiederzugewinnen.

Alles das ändert sich, wenn wir den Gaswechsel dadurch beschränken, daß wir eine Lunge außer Arbeit setzen. Die Lungen bilden zwei mit der Luftröhre zusammenhängende elastische Säcke, die, bei geschlossenem Brustkasten, über ihr natürliches Volum ausgedehnt sind und vermöge dieser Ausdehnung die ihnen angewiesenen luftdicht geschlossenen Behältnisse vollkommen ausfüllen. In diesem ausgedehnten Zustande werden sie durch den von der Luftröhre her auf ihrer inneren Fläche lastenden Atmosphärendruck erhalten. Verletzen wir einen Zwischenrippenraum und sorgen wir für das Zustandekommen einer bleibenden Oeffnung, durch welche die atmosphärische Luft freien Zutritt in den Brustraum hat, so kann die Lunge dieser Seite, weil nun ihre äußere und innere Fläche gleich belastet sind, ihrem Bestreben, auf das natürliche Volum zurückzukommen, ungehindert Folge leisten. Sie entfernt sich von der Brustwand und verbleibt, nachdem sie sich allseitig und vollständig gegen ihre Wurzel hin zusammengezogen hat, ohne Bewegung und unfähig, an dem Gaswechsel einen erheblichen Antheil zu nehmen. Beobachten wir die Athembewegungen eines so vorgerichteten Thieres, so sehen wir die Zahl der Athemzüge vermehrt, das Zwerchfell sich stärker zusammen ziehen, die reine Bauchathmung durch eine Rippen-Bauchathmung versetzt und überdies ein Paar der großen Halsmuskeln, die Scaleni, in Thätigkeit. Doch sind, wie man bei näherer Betrachtung findet, nicht alle Rippen, sondern nur

die der oberen Brusthälfte und auch von diesen nur die 2.—6. betheiligt. Indem diese Rippen sich nach aufwärts gegen den Hals hin bewegen, sieht man innerhalb ihres Bereiches den Brustkasten im Querdurchmesser zunehmen und seine vordere Zuschärfung sich abrunden. Die Muskeln, die dabei als Motoren vorwiegend ins Spiel kommen, sind die Intercostales externi und Levatores costarum. Mit ihrer Hilfe werden die genannten Rippen auch nach beseitigtem Einfluß der Scaleni noch kräftig gehoben. Gleichzeitig mit ihnen contrahiren sich Hamberger's Intercartilaginei, die, unfähig selbst als Rippenheber zu wirken, nur den Fehler corrigiren helfen, der aus der Nachgiebigkeit der Zwischenrippenräume resultirt.

Noch größer wird die Zahl der Athemzüge und die Anzahl der beim Athmen betheiligten Muskeln, wenn nach Eröffnung auch der anderen Brusthälfte, beide Lungen verhindert werden, den Bewegungen des Brustkastens zu folgen und der in ihnen vor sich gehende Gaswechsel auf ein Minimum herabsinkt. Wir sehen dann, mit Ausnahme der ersten, alle Rippen in Bewegung; am geringsten ist die der 7. und 8. Die 2.—6. bewegen sich aufwärts, die 9.—12. auf- und auswärts. Und dem entsprechend befinden sich alle Intercostales externi und Levatores in lebhafter Thätigkeit. Im Verein mit ihnen arbeiten, außer dem Zwerchfell, den Scaleni und Intercartilaginei, die Serrati postici, die Sternohyo- und thyreoidei, die Cricothyreoidei, die Digastrici. Und während der Ausathmung contrahiren sich auch die Bauchmuskeln. Die Athmungsweise des Thieres zeigt jetzt eine schlagende Aehnlichkeit mit

derjenigen, welche wir bei einem an höchster Athemnoth leidenden Menschen beobachten.

Eine andere Methode, dieselben Erscheinungen zu erzeugen, giebt uns die künstliche Respiration an die Hand.

Bewirken wir mit Hilfe eines Blasebalges oder einer ähnlichen Vorrichtung, daß die Lungen abwechselnd aufgeblasen werden und sich wieder zusammenziehen können, so läßt sich ein Thier mit geöffnetem Brustkasten Stunden lang am Leben erhalten, und steigern wir den so künstlich eingeleiteten Gaswechsel bis zu einem gewissen Grade, so weichen die Athembewegungen, die das Thier dann noch macht, in keiner Beziehung von denen eines unverletzten Thieres ab. Seine Athemzüge sind ebenso häufig, ebenso flach, wie unter natürlichen Verhältnissen, seine Athmungsweise eine rein abdominale. Man sieht unter allen den bloßgelegten Athmungsmuskeln nur das Zwerchfell sich zusammenziehen. — Durch eine Unterbrechung der Einblasungen sind wir ebenso im Stande, die verschiedensten Grade der Athemnoth hervorzurufen. Die Zahl der Athemzüge und die Anzahl der an den Athembewegungen sich betheiligenden Muskeln wächst mit der Dauer der Unterbrechung des künstlichen Gaswechsels. Wir beobachten unter Zunahme der Respirationsfrequenz anfangs immer stärkere Contractionen des Zwerchfells, dann die Aufwärtsbewegung der oberen Rippen, dann die Auf- und Auswärtsbewegung der unteren Rippen und die Zusammenziehung der Scaleni, und nach Verlauf mehrerer Minuten ist alles in Thätigkeit, was dem Thiere an Respirationsmuskeln überhaupt zu Gebote steht. Durch Wiederaufnahme

der Einblasungen läßt sich der erregte Sturm leicht wieder beschwichtigen. Jede Unterbrechung der künstlichen Respiration ruft ihn von Neuem hervor, und jedes Mal halten die in Thätigkeit gerathenden Muskeln dieselbe Reihenfolge ein.

Wir sehen aus Alledem, daß der Unterschied zwischen den Athembewegungen eines erstickenden und denen eines ruhig athmenden Thieres nur ein quantitativer, gradueller ist, daß also mit der Ursache der Erstickungserscheinungen zugleich die Ursache der natürlichen Athembewegungen gefunden werden kann.

Allerdings wäre dem letzteren Schluß gegenüber noch ein Einwand möglich. Man könnte von einem mehr psychischen Standpunkte aus die von uns geschilderten Vorgänge als einen Ausfluß des Willens betrachten wollen. Wie bei einem Kampfe aus anderem Beweggrunde den erregten Empfindungen entsprechende Anstrengungen gemacht werden, so setzt, könnte man meinen, auch das von der Erstickungsangst getriebene Thier allmählig alle seinem Willen unterworfenen Muskeln in Bewegung, und zu diesen gehören ja, wie die tägliche Erfahrung lehrt, auch die Athmungsmuskeln. Ein einfacher Versuch indeß genügt, um eine solche Erklärung als völlig unhaltbar zu erweisen. Bei einiger Uebung gelingt es, nach Unterbindung der Carotiden und Abtragung des Schädeldaches, sehr leicht, die Hemisphären des großen Gehirns sammt den Corpora striata und Thalami optici unter geringer Blutung aus der Schädelhöhle zu entfernen. Nach der Operation verfällt das Thier in einen dem tiefsten Schlafe ähnlichen Zustand. Es ist in eine willenlose, nur auf heftige äußere

Reize vorübergehend reagirende Maschine verwandelt. Die einzigen Bewegungen, die es, sich selbst überlassen, zeigt, finden sich am Respirations- und Circulations-Apparat. Die Athemzüge insbesondere gehen mit derselben Regelmäßigkeit wie im Schlafe vor sich. Eröffnet man bei einem solchen Thiere zuerst die eine, dann die ander Brusthälfte, so sieht man die Erstickungserscheinungen mit derselben Intensität und in derselben Reihenfolge auftreten, wie bei einem Thiere, das sich im Besitz seines großen Gehirns und damit im Besitze seines Bewußtseins und seiner Willenskraft befindet. Ebenso wenig weichen die mit Hilfe der künstlichen Respiration jetzt hervorzurufenden Phänomene von den vorher geschilderten ab.

Unter denen nun, welche die Erstickungserscheinungen als eine Folge der verminderten Sauerstoff-Aufnahme betrachten, steht sowohl der Zeit nach als. durch die Gründlichkeit seiner Untersuchungen, Wilhelm Müller, ein Schüler Ludwig's, obenan.

Von seinen Versuchen kommen hier zwei Reihen in Betracht. In der einen werden die Wirkungen von Gasgemengen studirt, welche weniger O enthalten als die atmosphärische Luft, in der andern von solchen, welche sogar mehr O als die atmosphärische Luft und gleichzeitig größere Mengen CO_2 enthalten. Das Thier athmet in beiden durch Quecksilberventile. Es bezieht die Einathmungsluft aus einem großen Glasgefäß, daß durch Quecksilber abgesperrt ist, und entleert seine Ausathmungsluft bei der ersten Versuchsreihe in die Atmosphäre, bei der zweiten in denselben Raum, aus dem es die Einathmungsluft bezieht.

In der ersten Reihe ist das einzuathmende Gasgemenge aus N und O zusammengesetzt. Es sind sechs Experimente, in denen der O gehalt beziehlich 1,74, 2,94, 4,48, 7,53, 14,85, 15,4 pCt beträgt. Im ersten Versuche war schon nach einer Minute die heftigste Suffocation ausgebildet, im zweiten stellt sich bereits nach 30 Secunden starke Unruhe ein, die nach abermals 30 Secunden bis zu heftigen Suffocationserscheinungen sich steigert. Im dritten „athmet das Thier 15 Minuten lang sehr heftig und ausgiebig, mit Anstrengung aller Muskeln; die geringste Verminderung in der Dichtigkeit der Einathmungsluft reicht hin, ausgesprochene Suffocationsanfälle zu erregen." Im vierten „athmet das Thier 15 Minuten; die Athemzüge erscheinen außerordentlich tief und ausgiebig, wie bei einem in mäßiger Athemnoth befindlichen Menschen; nach der Beendigung des Versuches athmet es sehr rasch und energisch". Im fünften „athmet das Thier 12 Minuten lang ohne bemerkliche Beschwerden". Im sechsten „erscheinen die Athemzüge nach einiger Zeit etwas tiefer und ausgiebiger als gewöhnlich, und ohne daß sich sonst bemerkenswerthe Zufälle einstellen".

Diese Versuche zeigen also, daß eine Verminderung des O gehaltes der Luft bis auf ein Drittel schon tiefere und ausgiebige Athemzüge erregt; ein weiteres Herabsinken des O gehaltes hat bereits starke Dyspnoë und eine noch weitere Verminderung desselben rasche Erstickung zur Folge, während, wenn der O gehalt ca. zwei Drittel beträgt, kein besonderer Einfluß auf die Athmung sich geltend macht.

In der zweiten Versuchsreihe ist der Behälter, aus dem das Thier seine Einathmungsluft bezieht, zuerst mit

reinem Sauerstoffgas gefüllt. Indem aber die Ausathmung in denselben Raum geschieht, nimmt die Menge des O allmälig ab und an seine Stelle treten CO_2 und N. Im Verlaufe des Versuches athmet also das Thier ein Gasgemenge, das aus O, CO_2 und N besteht und das immer ärmer an dem ersten und immer reicher an den letzten beiden Gasen wird. Solcher Experimente sind fünf mitgetheilt.

Nach Beendigung eines jeden analysirte Müller das zurückgebliebene Gasgemenge. Es enthielt in dem ersten neben 42,85 O 20,09 CO_2, im zweiten neben 38,61 O 47,33 CO_2, im dritten neben 58,53 O 27,53 CO_2, im vierten neben c. 36,62 O 58,255 CO_2, im fünften neben 20,8 O 68,59 CO_2. Wie hieraus erhellt, war also selbst am Ende eines jeden Versuches das Gasgemenge, welches beim Einathmen in die Lungen des Thieres gelangte, noch immer reicher oder nahezu ebenso reich an O, als die atmosphärische Luft. Es wurde aber dem Blute gleichzeitig CO_2 und zwar in allmälig wachsender Menge zugeführt. Die Dauer des Versuchs, welche nur in den vier letzten angegeben ist, betrug im zweiten 15 Minuten, im dritten 29½ Minuten, im vierten zwei Stunden, im fünften fast zwei Stunden. Die dabei beobachteten Erscheinungen sind nur für die letzten beiden Versuche etwas näher angegeben. Vom vierten heißt es: „45 Minuten nach Beginn des Versuches ist die Narcose bereits ausgebildet, das Thier reagirt auf Reflexe nicht; 55 Minuten später deutliche Agonie. Der Versuch endigt mit dem Tode des Thieres.“ Vom fünften heißt es: 29 Minuten nach Beginn des Versuchs ist „das Stadium der Unruhe ausgebildet“, 31 Minuten später: „die Narcose beginnt sich ein-

zustellen, Reflexe finden noch an Pfoten und Augen Statt", nach weiteren 15 Minuten: „die Reflexe sind noch an den Augen vorhanden, die Extremitäten werden kühl und mit Wolle bedeckt", nach ferneren 23 Minuten: „die Respiration wird langsam und es erfolgen 9 Athemzüge und 100 Herzschläge in der Minute. Auch dieser Versuch endigt mit dem Tode des Thieres.

Aus diesen Versuchen glaubt Müller den Schluß ziehen zu dürfen, „daß die CO_2 in gehöriger Dosis im Thierkörper die Wirkung eines narcotischen Giftes entfalte, welches bei einer Sättigung des Thieres acuten Tod zu erzeugen im Stande ist", ferner „daß nicht die Anhäufung der CO_2 im Blut und den Geweben es ist, was . . . . . die krampfhaften Zufälle beim Erstickungstod hervorruft; denn auch ein sehr beträchtlicher CO_2gehalt des Blutes erzeugt keine Reizung des verlängerten Markes und der CO_2gehalt der Lungenluft keine Reflexe". Die Erstickungs-Erscheinungen verdanken also nach Müller ihre Entstehung „geradezu dem Mangel am nothwendigen Sauerstoff".

Dem Unbefangenen wird auf den ersten Blick einleuchten, daß unsere Frage nach den Ursachen der dyspnoëtischen Erscheinungen nur durch die erste Reihe dieser Versuche eine präcise Antwort erhält. Durch dieselben ist unzweifelhaft erwiesen, daß die Verringerung der Sauerstoffzufuhr in der That Dyspnoë zu erzeugen vermag. Eine andere Deutung ist offenbar unmöglich. Anders verhält es sich mit der zweiten Reihe, von der überdies nur die beiden letzten Versuche in Betracht kommen können. Durch diese beweist Müller allerdings, daß die CO_2, wenn sie dem Blute in großer Menge zugeführt wird, ein heftiges Gift

sei; keineswegés aber, daß sie nicht im Stande sei, dyspnoëtische Erscheinungen hervorzurufen. Im fünften Versuche wird von einem „Stadium der Unruhe" gesprochen; indeß hat Müller anzugeben versäumt, worin diese Unruhe bestanden habe. Es drängt sich unwillkürlich die Vermuthung auf, daß auch die Respirationsmuskeln dabei betheiligt waren. Jedenfalls muß dasselbe Stadium auch im vierten Versuche vorhanden gewesen sein, da dieser mit dem fünften in jeder anderen Beziehung übereinstimmt. Auch wissen wir durch andere Erfahrungen, daß es kein Gift giebt, welches sofort lähmend auf das Nervensystem wirkt. Immer geht der Lähmung ein Stadium der Reizung vorher. Noch schwerer aber wiegt der Vorwurf, den wir dem eingeschlagenen Verfahren selbst zu machen haben. Müller hat zu seinen Versuchen ausschließlich Kaninchen genommen, welche wir zu den muskelschwachen Thieren zu zählen haben, und diese mußten durch schwer bewegliche Quecksilber-Ventile nicht nur ein-, sondern auch ausathmen. Sie hatten also Widerstände zu überwinden, welche unter solchen Umständen schon für sich einen gewissen Grad von Dyspnoë hervorzurufen im Stande waren. Eine der CO_2 etwa eigenthümliche erregende Wirkung auf das respiratorische Nervensystem, welche im Beginn des Versuches eintreten mußte, konnte darum leicht unbemerkt bleiben, oder mit anderen Worten, die Thiere konnten möglicherweise deshalb unter dem Einfluß der CO_2 nicht dyspnoëtisch werden, weil sie unter den mit dem Versuch gesetzten Bedingungen bereits dyspnoëtisch waren. Diese, wie Sie einsehen, gerechtfertigten Bedenken hat meines Wissens zuerst Thiry geltend gemacht.

Daß aber Müller sich in der That geirrt hat, indem er auf Grund der eben kritisirten Versuche die behinderte Kohlensäure-Ausfuhr als mögliche Ursache der Dyspnoë läugnete, ergiebt sich aus einer Reihe von Experimenten, welche von mir im Beginn des Jahres 1862 angestellt und in der hier erscheinenden Medicinischen Centralzeitung (Jahrgang 1862 Nr. 38 und 39) veröffentlicht wurden.

Die Methode meiner Versuche ist eine andere als die von Müller befolgte. Ich habe sowohl an Hunden als an Kaninchen experimentirt. Das Versuchsthier wurde zunächst durch die Einspritzung von Morphium acet. in Schlaf versetzt, und darauf die künstliche Respiration nach dem Takt eines Metronoms eingeleitet. So behandelte Thiere werden schon nach den ersten Stößen des Blasebalges respirationslos oder apnoëtisch, d. h. sie verlieren nach kürzester Zeit die Fähigkeit, spontane Respirationsbewegungen zu machen. Und dieser Zustand kann unverändert stundenlang fortdauern. Das kohlensäurehaltige Gasgemenge befindet sich in einem Gasometer von der Form, wie es in Gasanstalten gebräuchlich ist. Es gleicht dem allgemein bekannten Spirometer von Hutchinson. Aus diesem führt eine dicke Bleiröhre, in die ein großer anderthalbfach durchbohrter Hahn eingeschaltet ist, zu dem Blasebalg. Dieser letztere besteht aus einem sehr großen dickwandigen Gummiball, welcher durch zwei mit Handhaben versehene und durch ein Charnier vereinigte Bretter zusammengedrückt werden kann. Aus dem Innern des Balles führt eine Messingröhre, welche in zwei dicke mit Ventilen versehene Arme endigt. Die Ventile öffnen sich nach entgegengesetzten Richtungen. Der eine Arm steht

mit der erwähnten Bleiröhre, der andere mit einer Messingröhre in Verbindung, welche in die geöffnete Trachea eingelassen und hier stark befestigt ist. Von der messingenen Trachealröhre geht seitlich ein kurzes enges Röhrchen ab, durch welches die Exspirationsluft entweichen kann. Ursprünglich war die letztere Oeffnung durch einen passend geschnittenen Kork bis auf einen feinen Spalt geschlossen. Später ließ ich das Exspirationsgas durch ein mit der Trachealröhre verbundenes Wasserventil treten.

Mit Hilfe dieses Apparates ist man im Stande, einem Thiere bald nur atmosphärische Luft, bald ein in dem Gasometer befindliches Gasgemenge zuzuführen. Es hängt dies von dem erwähnten anderthalbfach durchbohrten Hahn ab. Der Wechsel kann durch die Umdrehung des Hahnes momentan geschehen.

Wird nun einem Thiere, das durch Zuführung von atmosphärischer Luft apnoëtisch geworden ist, ein Gasgemenge eingeblasen, welches mehr O als die atmosphärische Luft und gleichzeitig ansehnlich CO_2 mengen enthält, so sieht man kurz nach dem Beginn dieser Einblasungen Respirationen und bald auch dyspnoëtische Erscheinungen eintreten.

Ich will einen dieser Versuche, der am Kaninchen angestellt wurde, etwas ausführlicher schildern.

Zuerst wurde, wie gewöhnlich, die künstliche Respiration eingeleitet, und unmittelbar darauf der Brustkasten zwischen dem vierten und fünften Rippenpaar quer durchschnitten. Wegen der vorhergegangenen Unterbindung der Aa. mammariae hatte diese Operation keinen Blutverlust zur Folge gehabt. Es wurden 30 Einblasungen in der Minute gemacht. So lange die Zufuhr von atmosphärischer Luft

fortdauerte, sah man das bloßliegende Herz kräftig fortpulsiren, aber weder an den beiden Thoraxsegmenten, noch am Abdomen, noch auch an den Nasenflügeln eine Spur von Athembewegung auftreten. Sobald aber durch die Einblasungen den Lungen ein Gasgemenge zugeführt wurde, das 31 pCt. O, 28 pCt. CO_2, 41 pCt. N enthielt, machten sich schon nach einigen Secunden Respirationsbewegungen an den Nasenflügeln und dem Unterleibe bemerkbar. Nach Verlauf von anderthalb Minuten sieht man auf jede Einblasung eine tiefe Inspiration folgen, welche sich durch starke Erweiterung der Nasenflügel, starke Abflachung des Zwerchfells und starke Bewegung der Rippen kund giebt. Diese Bewegungen verschwanden, als man von Neuem atmosphärische Luft zuführte, und das Thier blieb respirationslos, bis abermals Einblasungen des kohlensäurehaltigen Gasgemenges gemacht wurden. Bei Wiederholung dieser Einblasungen zeigte die nähere Betrachtung, daß zuerst nur Zwerchfellscontractionen eintraten, daß zu diesen die Erweiterung der Nasenflügel und die Bewegung der Rippen sich hinzugesellte, dann alle drei Bewegungen immer stärker wurden und daß die Inspirationsbewegungen regelmäßig mit den Einblasungen alternirten. Ließ man zur Zeit, wo die Dyspnoë den höchsten Grad erreicht hatte, was sich durch Eröffnung des Mundes kund gab, wieder nur atmosphärische Luft zutreten, so nahm zunächst die Intensität der Athembewegungen ab, und indem diese schwächer wurden, interponirten sie sich auch nicht mehr regelmäßig den Einblasungen. Zuletzt verschwand jede Spur von Athembewegungen.

Etwa dreiviertel Stunden nach Beginn des Versuchs

wurden dem Thiere die Lungenmagennerven am Halse durchschnitten. Das Thier blieb auch jetzt respirationslos, als ihm atmosphärische Luft zugeführt wurde. Und eben so hatten die Einblasungen des kohlensäurehaltigen Gasgemenges wie früher Athembewegungen und Dyspnoë zur Folge. Aber die Dyspnoë fiel nun beträchtlich stärker aus als bei intacten Vagis; und die Athembewegungen interponirten sich jetzt nicht mehr den Einblasungen. Ferner beobachtete man nach öfterer Wiederholung der CO_2 haltigen Einblasungen, daß das Thier nach ihrem Aussetzen nicht mehr respirationslos wurde, und daß in diesem Stadium bei jedesmaliger Zufuhr von CO_2 die Zahl der Respirationen ab-, die Dauer der einzelnen Inspirationen zunahm.

Bei Hunden haben die CO_2-Einblasungen den gleichen Erfolg; nur sieht man hier schon kurz nach Beginn derselben neben anderen dyspnoëtischen Erscheinungen auch eine starke Contraction der Bauchmuskeln eintreten. Die active Exspiration bildet gleichsam einen Vorschlag der unmittelbar darauf folgenden dyspnoëtischen Inspiration.

Aus diesen Versuchen läßt sich, wie Sie sehen, ohne Weiteres und mit Sicherheit schließen, daß die CO_2 eine intensiv erregende Wirkung auf das respiratorische Nervensystem hat. Ferner, daß sie die Fähigkeit besitzt, die innerhalb der Lungen befindlichen Endigungen der Lungenmagennerven unmittelbar und stark zu erregen. Drittens, daß es nicht diese letztere Eigenschaft ist, durch welche sie Athemnoth erzeugt.

Um die Beweiskraft dieser Versuche zu schwächen, hat man freilich den Einwand gemacht, daß die CO_2 in ihnen nur dadurch wirksam gewesen sei, daß ihre vermehrte Zu-

fuhr zum Blute die Aufnahme des O gehindert habe. Aber meine Gegner haben vergessen, erstens, daß unter dieser Voraussetzung die Wiederbelebung eines erstickten Thieres durch künstliche Respiration unmöglich wäre, ferner, daß schon W. Müller in seiner Arbeit den directen Beweis für die Fähigkeit des Blutes, bei starker Sättigung mit CO_2 ungehindert O aufnehmen zu können, geliefert hatte.

In dem citirten Aufsatze habe ich noch andere Versuche mit Einblasungen von Wasserstoffgas mitgetheilt. Der Zweck derselben war, durch Auswaschung der CO_2 aus dem Blute die Thiere apnoëtisch zu machen und so diesen Stoff als das einzige Agens der Respiration darzuthun. Denn die vorigen Versuche sind, wie man leicht einsieht, nur zu dem Beweis geeignet, daß die CO_2 überhaupt Respirationsbewegungen hervorzurufen vermöge. Sie beweisen keinesweges, daß sie auch der natürliche Stimulus des Respirations-Nervencentrums sei. In der That schien es so, als ob ich durch die H-Einblasungen im Stande wäre, ein Thier nicht bloß vor Erstickung zu bewahren, sondern auch trotz der aufgehobenen O-Zufuhr eine geraume Zeit am Leben zu erhalten. Das letztere Ergebniß glaubte ich mir dadurch erklären zu können, daß unter den von mir gesetzten Bedingungen das Herz das einzig sauerstoffbedürftige Organ war. Die geringe Menge O, welche dieses Organ zur Fortdauer seiner Function bedurfte, konnte also recht wohl im Blute enthalten gewesen sein, bevor der H zugeführt wurde. Indeß haben zuerst Heidenhain und später Rosenthal nachgewiesen, daß ich bei diesen Versuchen einen Fehler begangen haben mußte, in Folge dessen das Versuchsthier zugleich mit dem H auch kleine

Mengen von O enthielt. Bei der vollkommenen Art, mit der mein Apparat die Lungen ventilirte, konnten, wie namentlich Rosenthal hervorgehoben hat, schon kleine O mengen den Dienst verrichten, den unter andern Bedingungen nur große Mengen zu leisten vermögen. Von der Richtigkeit dieser Ausstellungen habe ich mich denn auch thatsächlich später zu überzeugen Gelegenheit gehabt, indem ich einige Veränderungen mit meinem Apparate vornahm und statt des durch seine Diffusibilität ausgezeichneten Wasserstoffs das Stickoxydulgas in Gebrauch zog.

Einem kräftigen Hunde, der durch Einspritzung von 0,3 Gr. Morph. acet. narcotisirt war, wurden mit Hilfe des veränderten Apparates Einblasungen gemacht von einem Gasgemenge, das aus 82,5 Stickstoffoxydul und 17,5 Sauerstoff bestand. Der exspiratorische Luftstrom entwich durch einen mit dem Trachealrohr in Verbindung stehenden langen Gummischlauch in's Freie. Nach 6 Minuten langem Einblasen erfolgte keine Inspiration, geschweige denn Dyspnoë. Als hierauf die Einblasungen ausgesetzt wurden und gleichzeitig der Zutritt von atmosphärischer Luft in den Respirations-Apparat gehemmt war, so dauerte es über eine Minute, ehe der erste Athemzug erfolgte. Bald aber stellte sich starke Dyspnoë ein, wobei es auch zu starken inspiratorischen Erweiterungen des Mundes kam. Aber die Dyspnoë verschwand sehr bald, als von Neuem Einblasungen mit dem beschriebenen Gasgemenge gemacht wurden, und bei Fortdauer dieser wurde das Thier wieder apnoëtisch. Dieser Vorversuch lehrt also, daß Stickstoffoxydul, selbst wenn es in großer Menge dem Respirations-Apparat zugeführt wird, weder eine erregende noch lähmende Wir-

kung auf das Athmungsnervensystem auszuüben vermag, daß es mit einem Worte wie der H in die Reihe der sog. indifferenten Gase gehört. Es konnte diesem also ohne Weiteres substituirt werden.

Als ich nun bei einem anderen Thiere von nahezu gleicher Größe und Constitution, das ebenfalls durch 0,3 Gr. Morph. acet. narcotisirt war, denselben Versuch mit reinem Stickstoffoxydul wiederholte, traten schon kurz nach Beginn der Einblasungen Athembewegungen und bald auch starke Dyspnoë ein. Zu der Zeit, wo die Dyspnoë einen hohen Grad erreicht hatte, wurden statt der Stickstoffoxyduleinblasungen solche von atmosphärischer Luft gemacht. Doch verloren sich die dyspnoëtischen Erscheinungen nur sehr langsam, und selbst 8 Minuten nach Beginn der Lufeinblasungen war das Thier noch nicht apnoëtisch. Es fuhr fort, wenn auch in flachen Zügen, weiter zu athmen. Als jetzt die künstliche Respiration nun ganz suspendirt wurde, sah man die Athemzüge wieder tiefer werden und endlich auch die Kopfmuskeln sich an der Athmung betheiligen. Bei Wiederaufnahme der Luft-Einblasungen verschwand jedoch die Dyspnoë von Neuem. Allmälig verloren sich dann auch die spontanen Athembewegungen. Und schließlich war das Thier wieder gerade so apnoëtisch, wie vor den Stickstoffoxydul-Einblasungen.

Wir können demnach keinen Augenblick daran zweifeln, daß bei der Einblasung auch indifferenter Gase, wenn sie unvermengt den Lungen zugeführt werden, Athembewegungen eintreten und Dyspnoë entsteht.

Es giebt also eine Sauerstoff- und eine Kohlensäure-Dyspnoë, und die Erscheinungen, welche dem Tod durch

Erstickung vorhergehen, kommen durch die Zusammenwirkung zweier Bedingungen zu Stande, durch die Verminderung der Sauerstoffzufuhr und durch die Hemmung der Kohlensäureausfuhr.

Thiry hat in einer Arbeit, welche sich in den „Recueils des travaux de la société allemande de Paris“ (Paris 1865) findet, den Versuch gemacht, beide Bedingungen auf eine einzige zurückzuführen.

Die im Blute enthaltene CO_2 ist, wie sich aus den unter Ludwig's Leitung gemachten Untersuchungen von Setschenow und Scheffer ergiebt, nur zum Theil gelöst und durch Diffusion aus demselben zu entfernen; ein anderer und zwar großer Theil ist chemisch gebunden und also nur auf chemischem Wege abzuscheiden. Die einfach gelöste Portion läßt sich dadurch austreiben, daß man das Blut in einen luftleeren Raum bringt oder daß man indifferente Gase, wie Wasserstoff und Stickstoff, hindurchleitet; der chemisch gebundene Theil entweder durch Säuren oder, wie die neueren, ebenfalls unter Ludwig's Leitung angestellten Versuche von Holmgren und Preyer gelehrt haben, durch Sauerstoff. Dieses Gas hat, wie schon Lothar Meyer gezeigt hat, eine starke Affinität zu einem in den Blutkörperchen enthaltenen Stoffe und bildet mit demselben, wie es scheint, eine Säure, durch welche die hier fixirte Kohlensäure verdrängt wird.

Der im lebenden Körper Statt habende Lungengaswechsel hat also zweierlei Folgen. Er befördert die Abdunstung der in dem Blutserum gelösten Kohlensäure und gleichzeitig wird durch den an die Blutkörperchen tretenden Sauerstoff ein Theil der chemisch gebundenen Kohlensäure

aus ihrer Verbindung befreit und in den gelösten Zustand übergeführt. Tritt eine Störung des Lungengaswechsels ein, so muß nicht nur die Abdunstung der Kohlensäure vermindert werden, sondern auch die Zersetzung der Substanz, welche den chemisch gebundenen Theil der Kohlensäure enthält, träger von Statten gehen. Das Blut wird reicher nicht nur an gelöster, sondern auch an chemisch gebundener Kohlensäure sein, als im normalen Zustande. Nimmt man nun mit Thiry an, daß die Kohlensäure in beiden Zuständen ein Reizmittel für das respiratorische Nervensystem darstellt, so müssen indifferente Gase, welche anstatt der atmosphärischen Luft dem Blute zugeführt werden, ebenso gut Dyspnoë herbeiführen, als eine directe Behinderung des Lungengaswechsels. Denn mit Hilfe eines solchen Gases läßt sich zwar die Abdunstung der gelösten Kohlensäure gerade so vollständig bewirken, als durch die atmosphärische Luft; dagegen bleibt die Substanz unzersetzt, welche den chemisch gebundenen Theil der Kohlensäure enthält. Das Blut wird demnach auch hier reicher an Kohlensäure, und darum muß auch in diesem Falle Dyspnoë eintreten.

Diesen Voraussetzungen zufolge wäre also auch die Sauerstoff-Dyspnoë im Grunde nur eine Kohlensäure-Dyspnoë. Die verminderte Sauerstoffzufuhr würde nur dadurch Dyspnoë erzeugen, daß in Folge des mangelhaften Sauerstoffzutritts das Blut reicher an Kohlensäure bleibt, als im natürlichen Zustande. Und ein Respirations-Hinderniß hätte nur deshalb Dyspnoë zur Folge, weil der Gehalt des Blutes an (gelöster und gebundener) Kohlensäure zunimmt. Freilich bedarf es noch weiterer Versuche,

um diese einladende Hypothese Thiry's zum Range einer Theorie zu erheben. Was schon jetzt für sie spricht, ist die Thatsache, daß meinen Versuchen zu Folge das kohlensaure Natron, ein Salz, das reichlich im Blute vertreten ist, wenn wir eine Lösung desselben in die Pulsadern einspritzen, auf die vitalen Nervensysteme — darunter verstehe ich das Hemmungsnervensystem des Herzens, das vasomotorische und das respiratorische Nervensystem — in ganz gleicher Art wirkt wie die in Gasform eingeführte Kohlensäure.

Ich schließe diese Betrachtungen mit den innigsten Wünschen für das Wohlergehen dieser Anstalt. Möge es ihr bis in ferne Zeiten beschieden sein, unserem Vaterlande wie bisher, für den Frieden ausgezeichnete Männer der Wissenschaft, für den Krieg einsichtige, thatkräftige und aufopferungsfähige Aerzte zuzuführen. Möge sie immerdar blühen unter dem fürsorglichen Schutze des Königlichen Hauses der Hohenzollern, die durch ihre Herrschertugenden berufen sind, unser Deutsches Volk einig und groß zu machen, wie es in vergangenen Tagen war.

Berlin, Druck von Gebr. Unger (C. Unger), Königl. Hofbuchdrucker.